

東北大学未来科学技術共同研究センター 教授

山下 努

「銅酸化物超伝導体単結晶を用いる超高速集積デバイス」

1. 研究実施の概要

1) サブミクロンサイズの固有ジョセフソン接合プロセスの開発と新電子素子の提案

高品位の高温超伝導体単結晶の微細加工技術を確立して、 $1\mu\text{m}^2$ 以下の微小なデバイスを作製することに成功した。この結果、サブミクロンの素子で単一超伝導電子トンネル効果が起きたことを発見すると共に、固有ジョセフソン効果における量子サイズ干渉効果を初めて観測した。これらの基礎的データを解析した結果、結晶中を運動する磁束量子の速度が高速の1%という速いものであることを確認し、THz波帯周波数が発生することを理論的に予測した。以上の結果をまとめると、

- (1) 磁束量子運動を用いる極小サイズ、省電力の単結晶素子でTHz帯の周波数動作と電子素子の基本特性を実測した。
- (2) 積層単結晶構造を用いる単電子トンネル素子は、サブミクロンの大きさで電子1個を出し入れするメモリー素子となりうることを明らかにし、極小消費電力単電子トンネルトランジスターの実現が可能であることを確認した。
- (3) 省電力THz帯動作の電子素子と単電子メモリー及びトランジスターの実現により、大規模情報ネットワークに対応する高速コンピュータと新しい量子コンピューティングに必要とされるデバイスを供給することが可能となった。

2) 固有ジョセフソン接合(IJJ)の両側加工プロセスの開発

我々は最近、新しい両側加工プロセスを開発した。このプロセスで作るIJJの特徴は、

- (1) 単結晶内部に作られるため、臨界電流(I_c)は均一となり、
- (2) 2次元集積回路が作成できるためアンテナやrfチョーク回路と共に同じに集積できる。

例えば接合数が18個の接合にサブミリ波を基板側から照射すると明確なシャピロステップが観測できる。照周波数 $f_{FIR} = 1.6\text{THz}$ に対応するジョセフソン電圧 $V = \Phi_0 f_{FIR} N = 3.4 \times NmV$ が発生した。ここでNは接合数である。 $I-V$ 特性には明確なゼロクロス電圧が見られ、これはIJJとTHz波の結合が極めてよいことを示している。この結果は精密電子計測に必要な量子電圧標装置やTHz波検出器実現の可能性を示している。

我々はBi系単結晶を用いて固有ジョセフソン接合アレーを作成した。144個の接合アレーからなるこのデバイスは、その $I-V$ 特性を測定した所、するどい共振特性を示した。この鋭い共振特性は、500GHz帯のレーザー発振していることを示していることが、検波実験により明らかになった。この高温超伝導体IJJアレーレーザー技術THz帯連続波レーザーはその出力が約2mWと概算される。

以上の結果をまとめる。単結晶素子を二次元アレーに並べる集積回路プロセスを開発した。テラヘルツ帯のアンテナとチョーク回路のついた10,000個以上単結晶素子アレーが作成され、その結果、テラヘルツ波を高感度に受信できることを確認、直流電流を注入するとテラヘルツ波発光超伝導レーザーとなることが分かった。

(1) 山梨大学研究グループ

銅酸化物超伝導体単結晶を用いた超高速集積デバイスを実現するため、本研究では、デバイス特性等の評価やデバイス作製に利用するためのLa214系およびBi2212系酸化物超伝導体単結晶を育成した。

(2) 宇都宮大学研究グループ

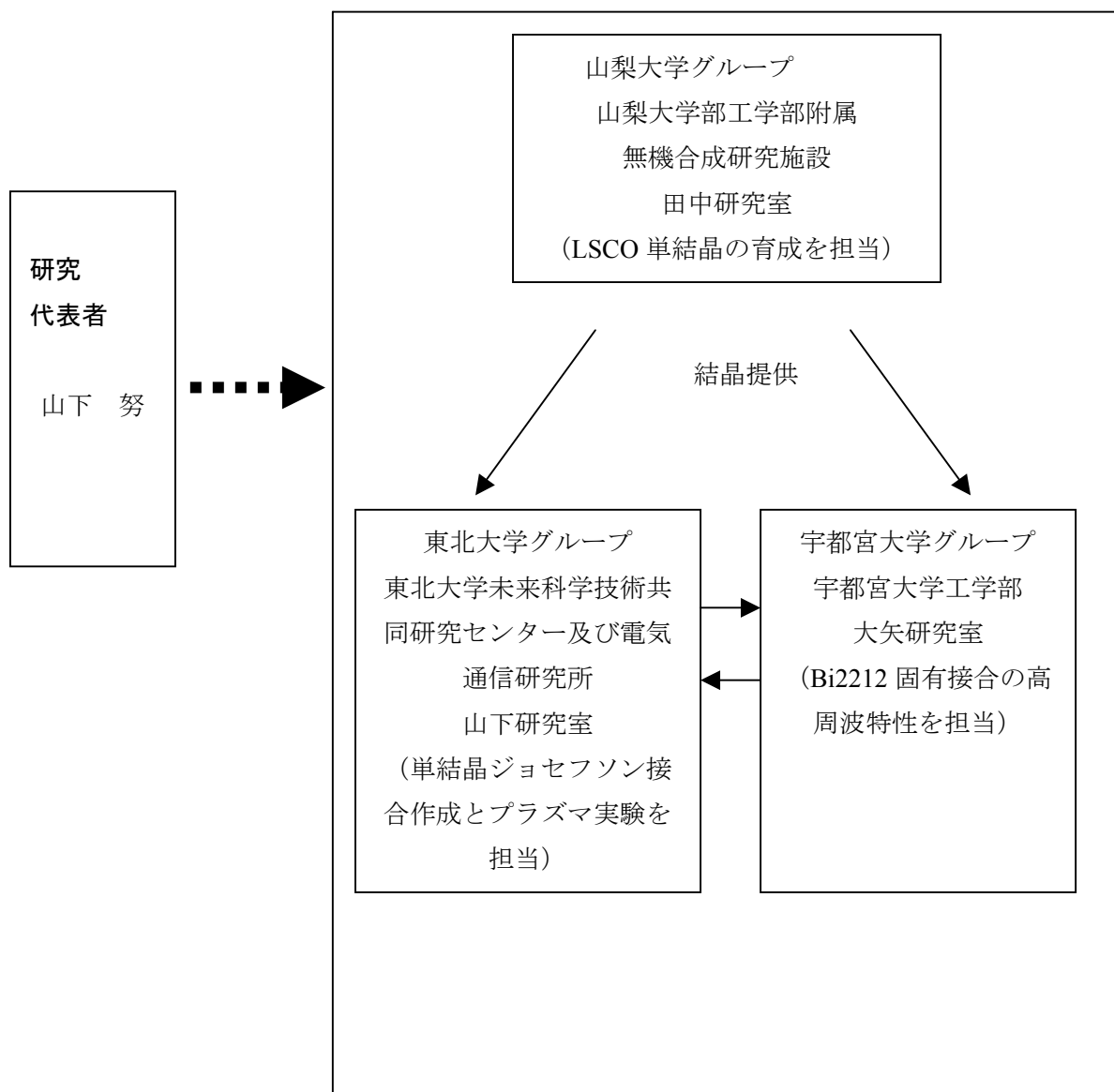
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ (BSCCO) 単結晶を用いて、その固有ジョセフソン接合積層系におけるジョセフソン・ボルテックス・ダイナミクスおよび高周波特性を明らかにすると共に、GHz～THz 帯超高周波（発振、伝送、検出等）デバイスの開発を目指した。

矩形および円筒形接合におけるボルテックスフローの速度は、4.2K では $(1-5) \times 10^6 \text{m/s}$ と見積もられ、同接合における電磁波の最高位相速度にほぼ対応することを明らかにした。

2. 研究構想

我々は、銅酸化物超伝導体がジョセフソン接合より二桁高いプラズマ振動数と、二桁短い磁界侵入長を有することを利用し、ゲート長が短く、密度集積化、超高速動作が可能であり、低消費電力化を図ることができる銅酸化物超伝導体単結晶を用いた電子素子を提案した。この素子は、寸法が磁界侵入長 $\lambda_c \leq 1 \mu\text{m}$ 、スイッチ時間 $\tau = \frac{1}{\omega_p} = 0.1 \text{p sec}$ が実現でき、占有面積は $0.2 \mu\text{m}^2$ 程となる。これはジョセフソン・メモリの占有面積 $10 \mu\text{m}^2$ に比して 1/100 小さい。従ってより高密度集積が可能であり、しかもジョセフソン接合より二桁速い超高速動作が可能である。

3. 研究実施体制



4. ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H9. 2. 23-2. 25	1997 International Symposium on Intrinsic Josephson Effect and THz Plasma Oscillations in High Tc superconductors	東北大学 金属材料研究所講堂	116 人	固有ジョセフソン効果とプラズマ振動に関する国際シンポジウムを開催
H10. 1. 29	'98 International workshop on High-Tc Superconducting Thin Films Devices and GHz to THz Phenomena	東北大学 電気通信研究所	60 人	高温超伝導体の高周波デバイスに関する国際ワークショップ
H10. 10. 6-10. 7	JST-CREST 合同シンポジウム (Joint Symposium of Iguchi-Yamashita JST-CREST)	宇都宮大学 大学会館	116 人	高温超伝導体による新しい量子効果デバイスについて討論した
H12. 8. 22-8. 24	2 nd International Symposium on Intrinsic Josephson Effect and THz Plasma Oscillations in High Tc superconductors	東北大学 金属材料研究所講堂	91 人	H9 年に引き続き、第 2 回目の固有ジョセフソン効果とプラズマ振動に関する国際シンポジウムを開催
H13. 11. 26-11. 28	1 st East Asai Symposium On Superconductive Electronics	東北大学 青葉記念会館	100 人 (予定)	日本、中国、韓国、インド、シンガポール、ロシアなどアジア諸国から研究者が出席し、超伝導に関する情報交換を行い、地域に根ざした研究交流を模索

5. 主な研究成果

(1) 論文発表 (国内 7 件、海外 140 件)

1. S.E. Shafranjuk, M. Tachiki, and T. Yamashita, "ac properties of an anisotropic layered superconductor", Phys. Rev., Vol.53, No.22, pp.15136-15146, (1996)
2. T. Yamashita, and M. Tachiki, "Single-Crystal Switching Gates Fabricated Using Cuprate Superconductors", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.35, No.8, pp.4314-4317, (1996)
3. T. Sugai, and T. Yamashita, "Synthetic Conditions of Single 110K Phase of Bi-Containing High-Tc Superconductor", J. Ceramic Society of Jpn. Vol.104, pp.314-319, (1996)
4. Y. Mizugaki, T. Onomi, K. Nakajima, and T. Yamashita, "Experimental Operation of an RS Flip-Flop Composed of Non latching Josephson Gates", IEEE Trans on Appl. Supercond., Vol.6, No.2, pp.90-93, (1996)
5. T. Nozue, A. Hasegawa, Y. Yasuoka, and T. Yamashita, "Slot Antenna Coupled Thin-Film YBCO Josephson Mixers", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.35, pp.L1181-L1183, (1996)
6. T. Onomi, Y. Mizugaki, T. Yamashita, and K. Nakajima, "Binary Counter with New Interface Circuits in the Extended Phase-Mode Logic Family", IEICE Trans. Electron., Vol.E79-C, No.9, pp.1200-1205, (1996)

7. 中島健介、陳 健、明連広昭、山下 努、呉培亨、“YBCO 粒界ジョセフソン接合の固有雑音温度とその動作周波数”、信学技報、SEC96-16, pp.37-41, (1996)
8. 金相宰、明連広昭、陳 健、中島健介、山下 努、“電子ビーム照射による Si 基板上 YBCO Josephson 接合の高周波特性”、信学技報、SEC96-11, pp.7-12, (1996)
9. C. Buzea, T. Yamashita, K. Nakajima, C.G. Buzea, M. Agop, “The isotope efficient dependence on nonstoichiometry for single CuO layer superconductors”, *Physica C*, Vol.270, pp.317-326, (1996)
10. S.E. Shafranjuk and T. Yamashita, “Minisbbands in electron excitation spectra of layered short-coherence-length superconductors”, *Phys. Rev. B*, Vol.54, No.21, pp.15380-15387, (1996)
11. 山下 努、“高温超電導単結晶の固有ジョセフソン効果とその素子応用”、FED ジャーナル Vol.7, No.3, pp.10-13, (1996)
12. A. Irie, M. Iwama and G. Oya, “Novel microwave-induced steps of intrinsic Josephson junctions in mesa-shaped BSCCO single crystals”, *Supercond. Sci. Technol.*, 9, pp.A14-A17, (1996)
13. G. Oya and A. Irie, “Flux motion in the stacked intrinsic Josephson junctions in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ single crystals”, *Physica C*, 263, pp.453-456 (1996)
14. E. Torikai, K. Nagamine, K. nishiyama, E. Hirose, P. Birrer, I. Tanaka, H. Kojima, S. Srinivas, T.P. Das and S. Maekawa, “Interaction of Paramagnetic Electron with High T_c Supercurrent in LaSrCuO Studied by (μ^- O) Probe”, *Hyperfine Interactions*, 97/98, 387-394 (1996)
15. M.K.R. Khan, H. Tanabe, I. Tanaka and H. Kojima, “Anisotropic Electric Resistivity of Superconducting $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_{4-\square}$ Single Crystals”, *Physica C*, 258 (3-4), 315-320 (1996)
16. K.R. Khan, Y. Mori, I. Tanaka and H. Kojima, “Growth and Superconductivity of $\text{La}_{2-x}\text{Ca}_x\text{CuO}_4$ Single Crystals”, *Physica C*, 262 (3-4), 202-206 (1996)
17. T. Yamashita, “Micro-Crystal Electronic Devices Using Cuprate Superconductors”, *Physica C* 293, pp.31-35, (1997)
18. J. Chen, H. Myoren, K. Nakajima, and T. Yamashita, “THz mixing properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ Grain Boundary Josephson Junctions on Bicrystal substrates”, *Physica C* 293, pp.288-291, (1997)
19. K. Nakajima, S.E. Shafranjuk, T. Ar ai, T. Yamashita, I. Tanaka, and H. Kojima, “Odd-gap spikes observed by tunneling spectroscopy for La-Sr-Cu-O single crystal”, *Physica C* 293 pp.292-295, (1997)
20. H. Myoren, R. Bergs, T. Tachiki, J. Chen, K. Nakajima, M. Suzuki, T. Yamashita, H. Sato, M. Naito, “Anisotropic Resistivity of In-Plane-Aligned $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4(100)$ films on $\text{LaSrGaO}_4(100)$ Substrates”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.36, No.5A, pp.2642-2645, (1997)
21. T. Onomi and Yamashita, “Design and Fabrication of an Adder Circuit in the Extended Phase-Mode Logic”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, Vol.4, No.2, pp.3172-3175, (1997)
22. S.E. Shafranjuk, M. Tachiki, and T. Yamashita, “Penetration of ac fields into anisotropic layered Superconductors”, *Phys. Rev. B*, Vol.55, No.13, pp.8425-8429, (1997)
23. S.-J. Kim, H. Myoren, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, and M. Tachiki, “High frequency properties of YBCO Josephson junctions on Si substrates fabricated by focused electron beam irradiation”, *Proc. of the 9th International Symp. on Superconductivity*, Oct. 21-24, Sapporo, pp.1191-1194, (1997)

24. S.-J. Kim, H. Myoren, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, and M. Tachiki, "High Frequency Responses of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ Josephson Junctions on Si Substrates Fabricated by Focused Electron Beam Irradiation", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol.36, No.8B, pp.L1096-L1099, (1997)
25. J. Chen, H. Myoren, K. Nakajima, and T. Yamashita, "Mixing at terahertz frequency band using $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ bicrystal josephson junctions", *Appl. Phys. Lett.* Vol.71, No.5, pp.707-709, (1997)
26. S.-J. Kim, K. Nakajima, J. Chen, H. Myoren, T. Yamashita, and M. Esashi, "Josephson junction arrays on Si membrane using focused electron beam irradiation", *Physica C*, 282-287, pp.2467-2468, (1997)
27. S.E. Shafranjuk, M. Tachiki, and T. Yamashita, "Subbands of plasmon and vortex excitations spectra in a fluxon lattice of a layered superconductor", *Physica C*293, pp.96-100, (1997)
28. S.-J. Kim, J. Chen, H. Myoren, K. Nakajima, and T. Yamashita, "YBCO dc SQUIDS on silicon using focused electron beam irradiation", *Inst. Phys. Conf. Ser. No.158, Applied Supercond.*, The netherlands, 30 June- 3 July, (1997)
29. G. Oya, M. Iwama and A. Irie, "Self-field effects in intrinsic Josephson junction stacks in $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ single crystals", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 7, pp.3666-3669, (1997)
30. 入江晃亘、大矢銀一郎、「 $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 単結晶の結晶構造変化と固有ジョセフソン接合特性」、*日本金属学会誌*、61, pp.862-868, (1997)
31. G. Oya and A. Irie, "Structures and intrinsic Josephson tunnel junctions of $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ single crystals", *Physica C* 293, pp.149-155, (1997)
32. A. Irie and G. Oya, "Microwave phase locking steps in intrinsic Josephson junctions of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ single crystals", *Physica C* 293, pp.249-253, (1997)
33. E. Torikai, K. Nagamine, K. Nishiyama, E. Hirose, Y. Ikedo, T. Hashimoto, P. Birrer, I. Tanaka, H. Kojima, S. Srinivas, T.P. Das, S. Maekawa, K. Yamada, S. Hosoya and Y. Endoh, "Probing Interaction of Paramagnetic Electron with Conducting Electrons in High T_c Superconductor LaSrCuO by (μ^+O) Spin Relaxation", *Hyperfine Interactions*, 105 (1-4), 175-179, (1997)
34. Yu.V. Bugoslavsky, A.A. Zhukov, G.K. Perkins, A.D. Caplin, A.A. Minakov, H. Kojima and I. Tanaka, "Reversible and Irreversible Properties of Anisotropic Superconductors as Studies by Vector Magnetometry", *Superlattices and Microstructures*, 21 Suppl. A, 31-35, (1997)
35. Yu.V. Bugoslavsky, A.A. Zhukov, G.K. Perkins, A.D. Caplin, H. Kojima and I. Tanaka, "Vortices in a $\text{La}_{1.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuO}_4$ Crystal: Influence of the Layered on Magnetisation", *Physica C*, 282-287, 1957-1958, (1997)
36. Yu.V. Bugoslavsky, A.A. Zhukov, G.K. Perkins, A.D. Caplin, H. Kojima and I. Tanaka, "Flux-line lock-in to CuO Planes in a $\text{La}_{1.9}\text{Sr}_{0.1}\text{CuO}_4$ Single Crystal", *Physical Review B*, 56(9), 5610-5616, (1997)
37. H. Kojima, J. Yamamoto, Y. Mori, M.K.R. Khan, H. Tanabe and I. Tanaka, "Single Crystal Growth of $\text{La}_{2-x}\text{M}_x\text{CuO}_4$ ($M=\text{Ca, Sr, Ba}$) by the TSFZ Method", *Physica C*, 293, 14-19, (1997)
38. S.E. Shafranjuk, M. Tachiki, T. Yamashita, "Fluxon lattice oscillations in layered superconductors", *Phys. Rev. B*, Vol.57, No.21, pp.13765-13772, (1998)
39. C. Buzea, T. Yamashita, "Elliptic function formalism description of anisotropic ginzburg-landau equation", *Physica C*298, pp.133-139, (1998)
40. S.E. Shafranjuk, M. Tachiki, T. Yamashita, "ac currents in a vortex state of layered superconductors", *Phys. Rev. B*, Vol.57, No.1, pp.582-589, (1998)

41. S.E. Shafranjuk, and T. Yamashita, "Giant flux quantization in layered superconductors", Phys. Rev. B., Vol.58, No.1, pp.121-124, (1998)
42. C. Koster, J. Chen, H. Myoren, K. Nakajima, T. Yamashita, and A. Takata, "Enhanced AC Josephson Effect in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ junctions Driven by Two RF Sources", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.37, pp.4356-4357, (1998)
43. T. Onomi, Y. Mizugaki, H. Satoh, T. Yamashita, and K. Nakajima, "Phase-Mode Circuits for High-Performance Logic", IEICE Trans. Electron., Vol.E81-C, No.10, (1998)
44. M. Ben. Tunyiswa, K. Nakajima, J. Chen, S.-J. Kim, H. Wang, and T. Yamashita, "Effects of Grain Boundaries on Temperature Dependence of Microwave Surface Resistance of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Thin Films", Jpn.J.Appl.Phys.Vol.37, No.10, pp.5540-5543,(1998)
45. H. Myoren, M.A.J. Verhoeven, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, D.H.A. Blank, and H.Rogalla, "High-Tc Ramp-Type Josephson Junctions on MgO Substrates for Terahertz Applications", IEEE, Trans. on Appl. Supercond, Vol.8, No.3, (1998)
46. S.-J. Kim, and T. Yamashita, "Electron-Beam-Damaged $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ Josephson junctions for High-Frequency Device Applications", IEICE Trans. Electron., Vol.E81-C, No.10, pp1544-1548, (1998)
47. Y. Uematsu, K. Nakajima and T. Yamashita, "Intrinsic Josephson effect in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ mesa junctions with niobium counter electrode", Appl. Phys. Lett, Vol.73, No.19, pp.2820-2822, (1998)
48. Y. Mizugaki, K. Nakajima, J. Chen, and T. Yamashita, "Numerical Evaluation for the High-Frequency Response of Josephson Junctions Having Finite Capacitance", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37, No.11, pp.5971-5972, (1998)
49. J. Chen, E. Kobayashi, K. Nakajima, T. Yamashita, S. Linzen, F. Schmidl and P. Seidel, "Response Properties at 2.525 Terahertz using High-Tc Josephson Junction on Silicon Bicrystal Substrates", IEEE Trans. on Appl. Supercond., Vol.8, No.3, pp.132-136, (1998)
50. J. Chen, E. Kobayashi, H. Myoren, K. Nakajima, T. Yamashita, S. Linzen, F. Schmidl and P. Seidel, "Submillimeter wave detection and mixing experiments using high temperature Josephson junctions", SPIE Proc., (1998)
51. H. Myoren, J. Chen, T. Yamashita, L. Amatuni, A.H. Sonnenberg, G.J. Gerritsma and H. Rogalla, "mm and sub-mm Properties of Ramp-Type Josephson Junctions on MgO with STO Buffer Layers", '98 ASC, Plamm Desert California, USA, (1998)
52. A. Irie, Y. Hirai and G. Oya, "Fiske and flux-flow modes of the intrinsic Josephson junctions in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ single crystals", Appl. Phys. Lett., 72, pp.2159-2161, (1998)
53. H. Tanabe, S. Watauchi, I. Tanaka and H. Kojima, "TSFZ Growth of $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ Single Crystals Under Varied Oxygen Partial Pressure", Advances in Superconductivity X, Proc. 10th Int. Symp. on Superconductivity (ISS'97), 371-374, (1998)
54. Yu. I. Latyshev, S. - J. Kim and T. Yamashita, "Experimental evidence for Coulomb charging effects in submicron Bi-2212 stacks", JETP Letters, Vol.69, No.1, pp.84-90, January, (1999)
55. S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev and T. Yamashita, "Submicron stacked-junction fabrication from $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ whiskers by focused-ion-beam etching", Appl. Phys. Lett, Vol.74, No.8, pp.1156-1158, Feb., (1999)
56. 山下 努、"微小単結晶で超伝導単電子トンネル素子"、化学と工業 vol.52-7, pp.884-886, (1999)

57. H.B. Wang, J. Chen, T. Tachiki, Y. Mizugaki, K. Nakajima and T. Yamashita, "Intrinsic Josephson junctions in oxygen-deficient $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ film deposited on a substrate step", *J. Appl. Phys.*, Vol.85, No.7, pp.3740-3744, Apr., (1999)
58. H.B. Wang, J. Chen, K. Nakajima and T. Yamashita, "Intrinsic Josephson Junction Array with Typical Tunneling Characteristics in Oxygen-deficient YBaCuO Thin Films", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol.9, No.2, pp.3008-3011, Jun., (1999)
59. S.-J. Kim, J. Chen, Y. Mizugaki, K. Nakajima and T. Yamashita, "YBCO SQUIDS Fabricated by Field-Emission Electron Beam Source", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol.9, No.2, pp.3089-3092, Jun., (1999)
60. S.-J. Kim and T. Yamashita, "Focused Electron Beam Damaged YBCO Josephson Junctions for THz Device Applications", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol.9, No.2, pp.4221-4224, Jun., (1999)
61. Yu. I. Latyshev, S.-J. Kim and T. Yamashita, "Fabrication of Submicron BSCCO Stacked Junctions by Focused Ion Beam (FIB)", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol.9, No.2, pp.4312-4315, Jun., (1999)
62. Y. Uematsu, H. Myoren, K. Nakajima, T. Yamashita, I. Tanaka and H. Kojima, "Fabrication of Josephson Junctions on La-Sr-Cu-O Single Crystals", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol.9, No.2, pp.4296-4299, Jun., (1999)
63. H.B. Wang, Y. Aruga, T. Tachiki, Y. Mizugaki, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu, "Microwave-induced Current Steps in Intrinsic Josephson Junctions Patterned on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ Single Crystal", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.74, No.24, pp.3693-3695, Jun., (1999)
64. S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, N. Sato and S. Kishida, "Submicron scale High- T_c superconducting stacks for single Cooper-pair tunneling", *Physica B*, 284-288, pp.1814-1815, Jun., (1999)
65. Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, L.N. Bulaevskii, M.J. Graf, A.V. Balatsky and M.P. Maley, "Interlayer Transport of Quasiparticles and Cooper Pairs in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ Superconductors", *Phys. Rev. Lett.*, Volume 82, Number 26, 28 Jun., (1999)
66. S.-J. Kim and T. Yamashita, "Three-Dimensional Intrinsic Josephson Junctions Using C -Axis $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ Thin Film", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.38, No.11, pp.5069-5070, 1999, Sep., (1999)
67. C. Buzea, H. B. Wang, K. Nakajima, S.-J. Kim and T. Yamashita, "Comprehensive study of the film surface temperature and plasma thermokinetics during $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ deposition by laser ablation", *J. Appl. Phys.* Vol.86, No.5, pp.2856-2864, Sep., (1999)
68. S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev and T. Yamashita, "Single Cooper-pair tunneling junctions using high- T_c superconducting materials", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol.35, No.5, pp.4094-pp.4096, Sep., (1999)
69. H.B. Wang, Y. Aruga, T. Tachiki, Y. Mizugaki, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu, "Harmonic frequency mixing in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ intrinsic Josephson junctions", *Appl. Phys. Lett.* Vol.75, No.15, pp.2310-2312, Oct., (1999)
70. Y. Mizugaki, K. Yanagisawa, T. Onomi, T. Yamashita, K. Nakajima, H. Yamamori and A. Shoji, "Magnetic Isolation on a Superconducting Ground Plane", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol.38, No.10, pp.5869-5870, Oct., (1999)
71. Y. Yasuoka, T. Nozue and T. Yamashita, "Millimeter Wave Harmonic Mixing in Thin-Film $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Josephson Junctions", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol.38, No.11, pp.6268-6271, Nov.,

- (1999)
72. T. Yamashita, "High Tc superconducting electronics", Northeast Asian Study Series 4: New Materials and Properties, pp.1-9, (1999)
 73. S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev and T. Yamashita, "3D intrinsic Josephson junctions using *c*-axis thin films and single crystals", Superconductor Science and Technology, pp.729-731, (1999)
 74. Y. Mizugaki, J. Chen, K. Nakajima and T. Yamashita, "RF responses of double-junction SQUID models", Superconductor Science and Technology, pp.992-994, (1999)
 75. H.B. Wang, T. Tachiki, Y. Aruga, Y. Mizugaki, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu, "Flux-flow resonant current steps in intrinsic Josephson junctions on Bi₂Sr₂CaCu₂O₈ single crystal", Superconductor Science and Technology, pp.1004-1006, (1999)
 76. Y. Mizugaki, J. Chen, K. Nakajima and T. Yamashita, "Magnetically-Enhanced Terahertz Response of Josephson Junctions", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, pp.4677-4681, (1999)
 77. 東北大学電気通信研究所、「固有ジョセフソン効果の新しい現象」超電導コミュニケーションズ、Vol.8, No.6 通巻 42 号、12 月、(1999)
 78. J. Chen, K. Nakajima and T. Yamashita, "Wide Band HTS Josephson Junction Detectors", Singapore Journal of Physics, Vol.15, No.1, pp.67-75, Dec., (1999)
 79. T. Yamashita, S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev and K. Nakajima, "Fluxon and Single Electron Devices Based on Intrinsic Josephson Effect", Singapore Journal of Physics, Vol.15, No.1, pp.77-85, Dec., (1999)
 80. Yu. I. Latyshev, P. Monceau, O. Laborde, B. Pennetier, V. Pavlenko and T. Yamashita, "CDW transport in mesoscopic structures of submicron and nanometer scale", J. Phys. IV France 9, pr10-165 – pr10-169, (1999)
 81. G. Oya and A. Irie, "Intrinsic Josephson effects and vortex dynamic properties in layered high-temperature superconductors", Recent Res. Devel. Applied Phys. 2, pp.429-452, (1999)
 82. A. Irie, S. Kaneko and G. Oya, "Josephson vortex flow in Bi₂Sr₂CaCu₂O_y intrinsic Josephson junctions", Int. J. Mod. Phys. B, 13, pp.3678-3681, (1999)
 83. G. Oya, S. Nozawa and A. Irie, "Tunneling characteristics of intrinsic Josephson junctions in (Bi_{1-x}Pb_x)₂Sr₂CaCu₂O_y single crystals", Int. J. Mod. Phys. B, 13, pp.3718-3720, (1999)
 84. H. Tanabe, I. Tanaka, S. Watauchi and H. Kojima, "Growth of La_{2-x}Sr_xCuO₄ Single-Crystalline Films by Liquid Phase Epitaxial Technique", Physica C, 315, 154-158, (1999)
 85. S. Watauchi, R. Kimura, I. Tanaka and H. Kojima, "TSFZ Growth and Physical Anisotropy of La_{2-x}Sr_xCu_{1-y}Ni_yO₄ Single Crystals", Key Engineering Materials, 169-170, 247-250, (1999)
 86. Y. Abe, Y. Ando, J. Takeya, H. Tanabe, S. Watauchi, I. Tanaka and H. Kojima, "Normal-State Magneto-transport in La_{1.905}Ba_{0.095}CuO₄ Single Crystals", Physical Review B, 59 (22), 14753-14756, (1999)
 87. I. Tanaka, H. Tanabe, S. Watauchi and H. Kojima, "LPE Growth of La_{2-x}Sr_xCuO₄ Single-Crystalline Films", J. Korean Assoc. Crystal Growth, 9 (3), 299-302, (1999)
 88. S. Watauchi, H. Tanabe, I. Tanaka and H. Kojima, "Growth of the Substrate Crystals for La_{2-x}Sr_xCuO₄ Thick Films", J. Korean Assoc. Crystal Growth, 9 (4), 384-386, (1999)
 89. S. Watauchi, K. Ashizawa and I. Tanaka, "Preparation of Single-Crystalline Superconducting Layers on Substrate of La₂CuO₄ Single Crystals", Singapore Journal of Physics, 15 (1), 127-133, (1999)

90. Y. Mizugaki, K. Saito, A. I. Braginski and T. Yamashita, "Josephson Switching Device Utilizing the Quantum Transitions in a Superconducting Quantum Interference Device Loop", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.39, pp.55-60, Part 1, No. 1, Jan., (2000)
91. T. Yamashita, S.-J. Kim and Y. Latyshev, "Single-electron tunnelling devices based on intrinsic Josephson junctions in Bi-2212", *Superconductor Science and Technology*, pp.99-102, Mar., (2000)
92. Y.I. Latyshev, V.N. Pavlenko, S.-J. Kim, T. Yamashita, "Interlayer Tunneling in Bi-2212: Coherency and Charging Effects", *Advances in Superconductivity XII*, pp.47-52, Apr. (2000), (Proceedings of the 12th International Symposium on Superconductivity (ISS'99))
93. N. Sato, S. Kishida, T. Hirano, S.-J. Kim, T. Yamashita, S.F.W. Rycroft and W.Y. Liang, "Growth of Bi₂Sr₂Ca_{n-1}Cu_nO_y Superconducting Whiskers and Their Characterization", *Advances in Superconductivity XII*, pp.542-544, Apr. (2000), (Proceedings of the 12th International Symposium on Superconductivity (ISS'99))
94. C. Buzea, H.B. Wang, S.J. Kim, T. Tachiki, Y. Uematsu, K. Nakajima, T. Yamashita, "Surface morphology of La_{1.85}Sr_{0.15}CuO₄/LaSrGaO₄(100) films deposited by laser ablation at different oxygen pressures", *Advances in Superconductivity XII*, pp.966-968, Apr., (2000), (Proceedings of the 12th International Symposium on Superconductivity (ISS'99))
95. H.B. Wang, T. Tachiki, Y. Aruga, Y. Mizugaki, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu, "Microwave Responses of BSCCO-2212 Intrinsic Josephson Junctions at Frequencies Up to 100 GHz", *Advances in Superconductivity*, pp.1108-1110, Apr., (2000)
96. Y. Mizugaki, K. Saito, T. Kondo, J. Chen, K. Nakajima, A.I. Braginski and T. Yamashita, "Two-Junction SQUID Controlled by Both DC and RF Magnetic Flux", *Advances in Superconductivity XII - Proceedings of the 12th International Symposium on Superconductivity (ISS'99)*, pp.1114-1116, Apr., (2000)
97. T. Tachiki, K. Nakajima, T. Yamashita, I. Tanaka and H. Kojima, "Flux Flow of Josephson Vortices in La_{2-x}Sr_xCuO₄ Single Crystals", *Advances in Superconductivity XII*, pp.1117-1119, Apr., (2000), (Proceedings of the 12th International Symposium on Superconductivity (ISS'99))
98. C. Buzea, T. Yamashita, "Universal Correlations of T_c Ion Mass Scaling with Distance", *Journal of Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism*, Vol.13, No.1, pp.181-192, (2000)
99. T. Yamashita, S-J Kim, Yu. I. Latyshev, K. Nakajima, "Intrinsic Josephson effect and single Cooper pair tunneling", *Physica C* 335, pp.219-225, (2000)
100. H.B. Wang, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, P.H. Wu, T. Nishizaki, K. Sshibata and N. Kobayashi, "Intrinsic Josephson effects in YBa₂Cu₃O_{7-δ} single crystals with various oxygen deficiencies", *Phys. Rev. B, Condensed Matter and Materials Physics*, Vol.61, No.22, pp.R948-951, Jun., (2000)
101. H.B. Wang, Y. Aruga, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu, "Individual Shapiro steps observed in resistively shunted intrinsic Josephson junctions on Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+x} single crystals", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.77, No.7, pp.1017-1019, (2000)
102. Yu. I. Latyshev, V.N. Pavlenko, S.-J. Kim, T. Yamashita, L.N. Bulaevskii, M.J. Graf, A.V. Balatsky, N. Morozov, and M. P. Maley, "Interlayer Tunneling of Quasiparticles and Cooper Pairs in Bi-2212 Single Crystal Whiskers", *Physica C*, Volume 341-348, pp.1499-1502, Nov., (2000)

103. N. Morozov, L. Krusin-Elbaum, T. Shibauchi, L.N. Bulaevskii, M.P. Maley, Yu.I. Latyshev and T. Yamashita, “C-axis tunneling in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ in the magnetic field up to 60 T”, *Physica C*, Volume 341-348, pp.1511-1514, Nov., (2000)
104. K. Nakajima, T. Yamashita, S. Sudo and T. Tachiki, “High Speed Vortex Motion in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ Intrinsic Josephson Junctions Fabricated by Inhibiting Ion Implantation”, *Physica C*, Volume 341-348, pp.1599-1600, Nov., (2000)
105. S. Heim, A. Irie, S. Schromm, M. Möhle, S. Rother, R. Kleiner and P. Müller, “Small size mesa structures on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\square}$ single crystals”, *Physica C*, 341-348, pp. 1567-1568, (2000)
106. A. Irie, S. Heim, S. Schromm, M. Möhle, T. Nachtrab, M. Gódo, R. Kleiner, P. Müller and G. Oya, “Critical currents of small $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ intrinsic Josephson junction stacks in external magnetic fields”, *Phys. Rev. B*, 62, pp.6681-6686, (2000)
107. A. Saito, K. Hamasaki, A. Irie and G. Oya, “Random telegraph voltage noise in a $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ ”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, 11, pp.304-307, (2000)
108. N. Kumada, S. Watauchi, I. Tanaka and N. Kinomura, “Superconductivity of Hydrogen Inserted LiNbO_2 ”, *Mat. Res. Bull.*, 35, 1743-1746, (2000)
109. A. Maljuk, S. Watauchi, I. Tanaka and H. Kojima, “The Effect of B_2O_3 Addition on $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ Single-Crystal Growth”, *J. Crystal Growth*, 212(1-2), 138-141, (2000)
110. K. Ashizawa, I. Tanaka, S. Watauchi and H. Kojima, “Chemical Oxidation on the Surface of La_2CuO_4 Single Crystals”, *Advances in Superconductivity XII, Proc. 12nd Int. Symp. on Superconductivity (ISS'99)*, 140-142, (2000)
111. I. Bdikin, A. Maljuk, S. Watauchi, I. Tanaka and G. Emel'chenko, “X-ray Topography Investigation of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ Single Crystals”, *Physica C*, 336 (3-4), 244-248, (2000)
112. F. Bobba, A.M. Cucolo, A. Jossa, Y. Bugoslavsky, H. Kojima and I. Tanaka, “Different Tunneling Regimes in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-\square}$ Break Junctions”, *Physica C*, 341-348 (1-4), 1935-1936, (2000)
113. C. Buzea, T. Tachiki, S.-J. Kim, H.B. Wang, Y. Uematsu, K. Nakajima, T. Yamashita, H. Sato and M. Naito, “The Anomalous Resistivity Peak of Intrinsic Layered High- T_c Superconductors”, *Advances in Cryogenic Engineering (Materials)*, Volume46, pp.607-614, (2001)
114. C. Buzea, T. Tachiki and T. Yamashita, “Heuristic Model For The Anomalous Resistivity Peak of Low-and High-Temperature Superconductors Based on Materials Anisotropy”, *Advances in Cryogenic Engineering (Materials)*, Volume46, pp.615-622, (2001)
115. T. Kondo, Y. Mizugaki, K. Saito, K. Nakajima and T. Yamashita, “Switching Device Based on RF-Field-Driven High- T_c SQUID”, *IEICE Transactions on Electronics*, VolumeE84-C, No.1, pp.55-60, Jan., (2001)
116. H.B. Wang, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita and P.H. Wu, “Intrinsic Josephson Junction Arrays on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ Single Crystals and Their Possible Applications at 100 GHz”, *IEICE TRANSACTIONS ON Electronics*, VolumeE84-C, No.1, pp.61-66, Jan., (2001)
117. 山下 努, “固有ジョセフソン効果 -新現象と応用の可能性-”, *応用物理*, 第 70 巻, 第 1 号, (2001)
118. T. Kondo, Y. Mizugaki, K. Saito, K. Nakajima and T. Yamashita, “Microwave Induced Steps in RF-Field-Driven DC SQUID and its Potential Applications”, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol.11, No.1, pp.900-903, Mar., (2001)

119. Y. Uematsu, N. Sasaki, Y. Mizugaki, K. Nakajima, T. Yamashita, S. Watauchi., I. Tanaka, "Subgap structures in the current-voltage properties of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ intrinsic Josephson junctions", *Physica C*, Volume 362, pp.290-295, (2001)
120. M. Nagao, M. Sato, H. Maeda, S.-J. Kim and T. Yamashita, "Growth and superconducting properties of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ single crystal whiskers using Te-doped precursors", *Appl. Phys. Lett.* Vol.79 (16), pp2612-2614, (2001)
121. S.-J. Kim and T. Yamashita, "Fabrications and characteristics of submicron tunneling junctions on High-Tc superconducting c-axis thin films and single crystals", *Appl. Phys.* Vol.89 (11), pp.7675-7677, (2001)
122. S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, S. Kishida, "Ultra-small and long intrinsic Josephson junction devices from a lateral FIB etching method", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* vol.11 (1), 948-951, (2001)
123. A. Saito, K. Hamasaki, A. Irie and G. Oya, "1/f noise of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ intrinsic Josephson junctions", *J. Appl. Phys.*, 90, pp. 2911-2914, (2001)
124. G. Oya and A. Irie, "New features of subgap structures in intrinsic Josephson junctions of $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", *Physica C*, 362, pp.138-144, (2001)
125. A. Irie, G. Oya, R. Kleiner and P. Müller, "Transport properties of small-sized intrinsic Josephson junctions in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", *Physica C*, 362, pp.145-149, (2001)
126. S. Watauchi, M. Wakihara and I. Tanaka, "Control of the Anisotropic Growth Rates of Oxide Single Crystals in Floating Zone Growth", *Crystal Growth*, 229 (1-4), 423-427, (2001)
127. S.-J. Kim, Yu. I. Latyshev, T. Yamashita, S. Kishida, "New approach for fabricating submicron scale intrinsic Josephson junctions using high-Tc superconducting materials", in print, *Physica C*, Vol. 362, (2001)
128. Yu. I. Latyshev, S.-J. Kim, V.N. Pavkenko, T. Yamashita, "Interlayer tunneling of Quasiparticles and Cooper-pairs in Bi-2212 from experiments on small stacks" in print, *Physica C*, Vol.362, (2001)
129. S. Kishida, T. Hirao, S.-J. Kim, T. Yamashita, "Growth of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_y$ Superconducting Whiskers", in print, *Physica C*, Vol.362, (2001)
130. T. Kawae, S.-J. Kim, K. Nakajima, T. Yamashita, S. Kishida, "Electrical properties of Bi-2212 whiskers using Ag Film electrodes" in print, *Physica C*, Vol.362, (2001)
131. Yu. I. Latyshev, V.N. Pavkenko, S.-J. Kim, T. Yamashita, "Collective motion of Josephson vortices in long stacked junction fabricated from Bi-2212 whisker", in print, *Physica C*, Vol.362, (2001)
132. C. Buzea and T. Yamashita, "Review of normal and superconducting state properties of MgB_2 ", *Superconductors, Science & Technology*, 14, R114-R146, (2001)
133. C. Buzea, T. Yamashita, "Critical temperature variation with nonstoichiometry in high-temperature superconductors", *Physica C* 357-360, 288-290, (2001)
134. C. Buzea, T. Yamashita, "New phenomenological derivation of temperature dependence of the coherence length and critical field for anisotropic three-dimensional lattices", *Physica C* 362, 210-214, (2001)
135. C. Buzea, T. Yamashita, "A novel hydrodynamic approach to superconductivity. Appearance of the Meissner effect", I.I. Pacheco Blandino, *Chaos, Solitons and Fractals* 12 (3), 429-443, (2001)

136. H.B. Wang, P.H. Wu, and T. Yamashita, "Terahertz responses of intrinsic Josephson junctions in high T_C superconductors", Phys. Rev. Lett. 87, 107002, (2001)
137. H.B. Wang, P.H. Wu, and T. Yamashita, "Stacks of intrinsic Josephson junctions singled out from inside $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ single crystals", Appl. Phys. Lett., 78 (25), 4010, (2001)
138. H.B. Wang, L.X. You, J. Chen, K. Nakajima, T. Yamashita, and P.H. Wu, "Resistively-shunted $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ intrinsic Josephson junctions", Physica C, 362, 108-113, (2001)
139. H.B. Wang, L.X. You, P.H. Wu, and T. Yamashita, "Microwave responses of an insular intrinsic Josephson junction stack fabricated from Bi-Sr-Ca-Cu-O single crystal", IEEE Trans. on Appl. Supercond., 11 (1), 1199, (2001)
140. H. B. Wang, Jian Chen, Kensuke Nakajima, Tsutomu Yamashita, and Peiheng Wu, "Intrinsic Josephson Junction Arrays on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ Single Crystals and Their Possible Applications at 100 GHz", IEICE Trans. Electron., E84-C (1), 61, (2001)
141. A. Irie and G. Oya, "Pair and quasiparticle tunneling characteristics of small-sized intrinsic Josephson junctions in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", Physica C, in press.
142. A. Irie, T. Mimura, M. Okano and G. Oya, "Intrinsic Josephson tunneling properties in small-sized Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O mesas", to be submitted in Supercond. Sci. Technol.
143. Yu. M. Schkrinov and Kh. Nasrulaev, M. Sargolzaei, G. Oya and A. Irie, "Coupling between junctions and subgap structures in intrinsic Josephson effect in layered high- T_c superconductors", to be submitted in Supercond. Sci. Technol.
144. N.J. Ali, A. Irie and G. Oya, "Size dependent properties of the intrinsic Josephson junction in Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O single crystals in external magnetic fields", to be submitted in IEICE.
145. G. Oya and A. Irie, "The influence of microwave irradiation on the pronounced subgap structures in intrinsic Josephson junctions of $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", to be submitted in Physica C.
146. C. Buzea and T. Yamashita, "Superconductivity of MgB2-State of the art and future directions in superconducting material science", submitted to Physics Letters A
147. C. Buzea, T. Tachiki, K. Nakajima, T. Yamashita, "The origin of resistance peak in high-temperature superconductors -apparent T_c anisotropy due to J_c anisotropy", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, to appear

(2) 特許出願 (国内 1 件、海外 23 件)

1. 発明者：山下 努 (50%)、中島健介 (10%)、陳 健 (10%)、セルゲイ サフランジ
 ュク (10%)、王華兵 (10%)、立木昌 (10%)
 「超伝導テラヘルツ電磁波発生システム」
 特願：平 10/03/23、特開：平 11/10/08
2. 発明者：山下 努 (50%)、中島健介 (50%)
 「イオン注入法による層状高温超伝導体固有ジョセフソンデバイス」
 特願：平 10/03/23、特開：平 11/10/08
3. 発明者：山下 努 (40%)、ユーリ ラティシエフ (40%)、立木 昌 (20%)
 「積層構造を持つ単電子トンネル素子」
 特願：平 10/07/27、特開：平 12/02/18

4. 発明者：山下 努 (40%)、ユーリ ラティシェフ (30%)、金相宰 (30%)
「層状酸化物超伝導体を用いた高温単電子対トンネル素子の製造方法」
特願：平 10/09/10、特開：平 11/10/08
5. 発明者：兒嶋弘道 (40%)、田中 功 (20%)、綿打敏司 (20%)、田辺英義 (20%)
「超伝導酸化物の単結晶膜およびその製造方法」
特願：平 10/12/25、特開：平 11/10/08
6. 発明者：山下 努 (50%)、金相宰 (50%)
「薄膜及び単結晶を用いた立体的電子素子の作成方法」
特願：平 11/01/26、特開：平
7. 発明者：山下 努 (50%)、金相宰 (50%)
「外願名：異方性被加工材料を用いた立体的電子素子の製造方法及びその製造位置」
外願：2000年1月26日(米国)
8. 発明者：山下 努 (50%)、水柿義直 (50%)
「高周波磁束工藤超伝導量子干渉素子」
特願：平 11/06/01、特開：
9. 発明者：山下 努 (50%)、金相宰 (50%)
「積層構造を用いる単電子トンネルトランジスタ」
特願：平 11/07/13、特開：平 11/10/08
10. 発明者：田中 功 (50%)、綿打敏司 (30%)、芦澤建 (20%)
「超伝導性酸化物の単結晶膜の製造方法」
特願：平 11/10/04、特開：、特許第 30455503 号 (平 12/3/17 取得)
11. 発明者：田中 功 (50%)、綿打敏司 (50%)
「酸化物単結晶の製造方法」
特願：平 11/11/09、特開：特許第 30455503 号 (平 12/6/16 取得)
12. 発明者：山下 努 (50%)、王華兵 (50%)
「銅酸化物高温超伝導体の抵抗シャント固有ジョセフソン接合」
特願：平 12/04/25、特開：
13. 発明者：山下 努 (100%)
「銅酸化物超伝導単結晶を用いる高周波発振器」
特願：平 12/08/21、特開：
14. 発明者：田中 功 (50%)、綿打敏司 (30%)、岩本文司 (20%)
「銅酸化物超伝導体単結晶とその製造方法」
特願：平 12/10/12、特開：
15. 発明者：中島健介 (50%)、山下 努 (50%)
「不純物イオン注入による高温超伝導固有ジョセフソン接合の臨界電流制御

方法」

特願 : 平 12/12/26、特開 :

16. 発明者 : 山下 努 (50%)、王華兵 (50%)

「 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 単結晶を用いた両面加工製プロセス」

特願 : 平 13/01/31、特開 :

17. 発明者 : 山下 努 (50%)、王華兵 (50%)

「アンテナ結合した $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 単結晶固有ジョセフソン接合テラヘルツ
検出器 (固有ジョセフソン接合テラヘルツ検出器)」

特願 : 平 13/01/31、特開 :

18. 発明者 : 佐藤充典 (20%)、山下 努 (20%)、前田 弘 (20%)、金相宰 (20%)、長
尾雅則 (20%)

「高温超伝導酸化物の針状単結晶の製造法」

特願 : 平 13/02/15、特開 :

19. 発明者 : 田中功 (50%)、綿打敏司 (30%)、中村 修 (20%)

「酸化物超伝導体結晶の双晶除去法」

特願 : 平 13/04/28、特開 :

20. 発明者 : 水柿義直 (50%)、山下 努 (50%)

「多相高周波磁束駆動超伝導量子干渉素子」

特願 : 平 13/04/30、特開 :

21. 発明者 : 佐藤充典 (20%)、山下 努 (20%)、前田 弘 (20%)、金相宰 (20%)、長尾
雅則 (20%)

「酸化物高温超伝導体針状結晶とその製造方法」

特願 : 平 13/ 特開 :

22. 発明者 : 山下 努 (40%)、王華兵 (30%)、呉培亨 (30%)

「固有ジョセフソン素子を含む集積回路による電圧標準装置」

特願 : 平 13/ 特開 :

23. 発明者 : 山下 努 (40%)、王華兵 (30%)、呉培亨 (30%)

「固有ジョセフソン素子を含む集積回路による連続発振ミリ波サブミリ波レ
ーザー」

特願 : 平 13/ 特開 :

24. 発明者 : 山下 努 (40%)、王華兵 (30%)、呉培亨 (30%)

「固有ジョセフソン素子を含む集積回路によるミリ波・サブミリ波受信機」

特願 : 平 13/ 特開 :

(4) 受賞、新聞報道等

① 受賞

1. 水柿義直、平成8年度学術奨励賞（電子情報通信学会）
「高電流密度ジョセフソン接合の V_m 値の解析的表現」、1997年3月25日
2. 田中 功、塩原 融、第2回超伝導科学技術賞一般賞（(社)未踏科学技術協会超伝導科学技術協会）
「高温超伝導体高品位単結晶の育成と結晶成長論の展開」、1998年4月14日
3. 水柿義直、第10回（2001年春季）講演奨励賞（応用物理学会）
「フラッシュ型4ビット単電子アナログ・デジタル変換器の試作」、2001年5月11日
4. 植松 裕、第10回（2001年春季）講演奨励賞（応用物理学会）
「LSCO固有接合の電流電圧特性上に観測されるジョセフソンプラズマ共振」、
2001年5月11日
5. 山下 努、金相宰、Yu.I.Latychev、超伝導科学技術賞（(財)未踏科学技術協会）
「単一クーパー対素子の提唱と実証」

② 新聞報道

1. （東北大学、山下努）河北新報夕刊、平成10年1月30日、
研究室の窓、「脳機能解明で集積回路開発」
2. （東北大学）日刊工業新聞、平成10年8月21日、
「世界最小、4Kで動作 ビスマス系高温超伝導体単電子素子を実現」
3. （東北大学）日経産業新聞、平成10年8月21日、
「電子1個の動き制御 超伝導素子を微細化」
4. （東北大学）日本工業新聞、平成10年8月21日、
「高温超伝導単結晶で実現 JSTが単電子トンネル素子」
5. （東北大学）河北新報、平成10年8月21日、
「超伝導“常温動作”へ道 単電子トンネル素子開発」
6. （東北大学）読売新聞、平成10年8月31日、
「超微細「単結晶素子」を開発」
7. （東北大学）日本プラスチック新聞、平成10年9月5日、
「超伝導単電子トンネル素子」
8. （東北大学）毎日新聞、平成10年9月8日、
「単電子トンネル素子 東北大で開発に成功」
9. （宇都宮大学）日経産業新聞、平成10年12月10日、
日経テクノプラザ技術移転情報、国立大学の成果②、「超伝導超格子結晶デバイス」

10. (宇都宮大学) SEAJ Journal No.60 pp.62-65 平成 11 年、
大学研究所訪問、「超伝導デバイス開発に向けて進む材料研究 宇都宮大学」
11. (東北大学) 科学新聞、平成 12 年 2 月 18 日、
「科学技術振興事業団戦略基礎研究推進事業 注目される研究成果から」